

doi:10.11937/bfyy.20180795

间断供液时间对营养液膜栽培番茄 生长及产量的影响

任毛飞^{1,2}, 王吉庆², 李宇², 周燕², 马彩霞², 张永豪²

(1. 信阳农林学院, 河南 信阳 464000; 2. 河南农业大学 园艺学院, 河南 郑州 450002)

摘 要:营养液膜栽培技术(NFT)是无土栽培的重要形式,为了探究中原地区日光温室早春茬番茄营养液膜栽培的供液制度,以“双抗1号”番茄品种为试材进行营养液膜栽培试验,采用间断循环供液的方式,白天以1 h为循环周期,根据间隔供液时间的长短及地面上下情况设置6个处理(20、25、30、35、40、45 min·h⁻¹),夜晚各处理均采用3 h供液15 min的供液制度。通过调查不同处理番茄生长指标、光合特性指标、产量构成指标及果实的营养品质指标,观测了栽培槽设置在地面上和地面下的根际温度,研究了间断供液制度对营养液膜栽培番茄生长及产量的影响。结果表明:不同供液制度地上部茎叶鲜质量和干质量指标差异不显著;随着白天供液时间的延长,番茄的株高呈现逐渐增加的趋势,对茎粗、叶片影响不明显;番茄根系鲜质量和干质量、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、平均单果质量、优果率、产量呈先增加后减少的趋势,其中供液25、30 min·h⁻¹处理下667 m²产量分别为7 948.06、7 960.93 kg。随供液时间延长番茄果实干质量比呈降低趋势,可溶性糖、有机酸、维生素C等品质指标含量差异不显著。相同供液制度地上栽培槽番茄的株高、茎粗、叶面积、净光合速率等指标均高于地下栽培槽,地上栽培槽相比较地下栽培槽可提高根系温度1~2℃,单株坐果数增加了2.2个,优果率提高了11.75%、产量提高9.48%。

关键词:番茄;营养液膜栽培;间断供液;栽培槽

中图分类号:S 627 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2018)20-0067-09

截至2016年底,我国设施园艺面积高达430万hm²,设施蔬菜栽培面积和产量稳居世界第1位^[1]。目前在生产过程中过分的强调土壤产出率,设施复种指数高以及灌溉和施肥的不科学等现象,加剧了设施园艺的连作障碍,出现了蔬菜产量和品质下降等问题^[2],而无土栽培是克服设施连作障碍的有效途径^[3]。在发达国家的设施园

艺生产中,荷兰无土栽培占温室总面积的比例超过70%,加拿大超过50%,比利时达50%,美、日、英、法等国家也占有较大的比例^[4-5]。营养液膜栽培(nutrient film technique, NFT)是无土栽培的重要形式之一,国内外已经有很多关于NFT相关研究的报道^[6-20]。针对供液制度,沈家洛等^[21]在营养液膜技术条件下通过液面位置法、日射量积累法、控制电动率、定时法等4种不同营养液管理的方式,发现日射量积累法更适用于NFT条件下莴苣的生长;马中男等^[8]、庄天佑等^[22]通过间歇供液(15 min·h⁻¹)与连续供液相比番茄产量无差异,营养液膜栽培宜选用间隙供液的方式;陶国富^[23]设计了间隔10、20、30 min供液15 s,深水培间隔20 min循环1次的供液制度,其研究认为在番茄的不同生长阶段,营养液膜栽

第一作者简介:任毛飞(1989-),男,河南永城人,硕士,研究方向为设施农业。E-mail:renmaofei2015@163.com.

责任作者:王吉庆(1963-),男,河南汝州人,博士,教授,硕士生导师,现主要从事蔬菜栽培生态生理与无土栽培等研究工作。E-mail:wjq16@sina.com.

基金项目:河南省现代农业产业技术体系建设专项资助项目(S2010-03)。

收稿日期:2018-04-24

培间隔 20 min 供液 15 s 较合理。从目前的研究来看,灌溉频率是营养液膜栽培的重要技术参数,但将时间作为一个周期进行间隙供液的研究尚鲜见报道。基于相关灌溉研究,该试验以番茄为试材,研究供液时间的不同对番茄生长、产量、品质等方面的影响,旨在为中原地区日光温室早春茬番茄 NFT 供液的管理提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄“双抗 1 号”由河南农业职业技术学院培育。供试育苗盘为 72 孔穴盘(育苗前期);育苗后期供试育苗材料为岩棉块(10 cm×10 cm×7 cm),四周由黑白农膜包围。

1.2 试验方法

试验地点位于河南省郑州市惠济区河南农业大学毛庄科教试验园区,田间试验于 2015 年 10 月至 2016 年 7 月在科教试验园区的日光温室内进行,室内试验于 2016 年 3 月至 2016 年 8 月在河南农业大学园艺学院中心实验室进行。

试验设置 6 个地下栽培槽(地面下 0~20 cm 处)间断供液处理(处理 A、B、C、D、E、F)和 1 个地上栽培槽(地面上 0~20 cm 处)处理(处理 G)。07:00—19:00 整点供液,依据不同处理循环供液不同时间,1 h 循环供液 1 次;19:00 至次日 07:00 整点供液,各处理均循环供液 15 min,每 3 h 循环供液 1 次(即间隔 165 min,供液 15 min)。具体情况见表 1。

表 1 试验处理及编号
Table 1 Experimental treatment and number

处理 Treatment	07:00—19:00 供液制度 Solution circulation system of 07:00—19:00		19:00—07:00 供液制度 Solution circulation system of 19:00—07:00	
	循环供液时间 Solution circulation time	停止供液时间 Solution stopping time	循环供液时间 Solution circulation time	停止供液时间 Solution stopping time
A	20	40	15	165
B	25	35	15	165
C	30	30	15	165
D	35	25	15	165
E	40	20	15	165
F	45	15	15	165
G	20	40	15	165

试验各处理栽培槽呈长 75 cm,底宽 20 cm,高 20 cm 的三角形,栽培槽外围由宽度 20~25 cm,厚度 1 cm 的木板围合而成,木板围合的三角形槽内放置 0.2 mm 厚的黑白双色聚乙烯膜,双色聚乙烯膜围绕番茄苗折叠成底宽 20 cm,高 20 cm 的三角形。栽培槽南北走向,呈 75:1 的坡降,每个栽培槽配置 1 个 500 L 的营养液桶形成各自独立的供液系统。试验各处理行距 1.6 m,每栽培槽栽培番茄 30 株,株距 25 cm。

2015 年 10 月 18 日番茄种子经催芽处理后,用基质(草炭:蛭石:珍珠岩=3:2:2,鸡粪 15 kg·m⁻³)育苗,待番茄幼苗长到 4 叶 1 心时移到岩棉块中继续培养。分苗前将岩棉块用完全营养液充分浸泡(3 倍体积水,浸泡时间不少于 24 h),捞出后自然控水至岩棉块相对持水量的 70%左右再进行分苗,分苗时把番茄幼苗根系上

基质用水冲洗干净,操作时尽可能少伤及到根系。把岩棉苗放在坡度为 1:80 的育苗床上,并保持岩棉块相对持水量的 60%~70%^[24],用 1/2 完全营养液进行培养。番茄苗于 2016 年 2 月 27 日定植于栽培槽,其它管理同一般水培管理。前期营养液流速 3 L·min⁻¹,收获期营养液流速 5 L·min⁻¹,微量元素配方同一般营养液微量元素配方,具体大量元素营养液配方见表 2。

表 2 营养液配方
Table 2 Nutrient solution formula g·t⁻¹

N	P	K	Ca	Mg	S
180	205	417	96	72	96

1.3 项目测定

1.3.1 生长指标的测定

定植后定期测指定植株的株高、茎粗、叶片

数、叶绿素含量、光合指标(净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率)等。以卷尺测量地面至生长点的高度即为株高;以游标卡尺测量茎粗(地面以上 2 cm 处);用目测对叶片数(叶长大于 3 cm)进行计数;叶绿素含量采用叶绿素测定仪(SPAD-502 Plus, KONICA MINOLTA, INC., JAPAN)进行测定,光合相关指标利用光合仪(LI-6400XT 便携式光合仪,美国 LI-COR)测量。

分别在开花期(3月21日)、坐果期(4月15日)、始收时(5月24日)、拉秧时(7月1日)对各处理取3个植株作为样本,测定植株的叶面积、叶鲜质量。叶面积用打孔称质量法测量,即将植株叶片全部摘下,叠放在一起,用直径1cm的打孔器打孔,分别称量所有打孔的叶片和剩余叶片的质量,即可得到叶面积。

拉秧时(7月1日)各处理随机取4株为样本(除果实以外)烤株,地上部鲜质量直接用电子秤进行称质量,地下部鲜质量先除去岩棉用水冲洗根部,然后用滤纸吸去多余的水分,再进行称质量;将称质量后的植株地上部和地下部置于烘箱 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 杀青 15 min, $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒质量,称其质量即为干质量。

1.3.2 果实品质指标的测定

在收获第1、2穗果时,进行品质测定,测定时每小区随机选取4株番茄抽取成熟度相同并具有代表性的果实进行果实品质分析,并测量果实的干鲜质量,计算果实干质量占鲜质量的百分比即果实干质量比,果实品质测定参考文献[25]中相关测量方法。每处理随机选10株调查单株结果数、单果质量,计算单株产量、优果率(单果质量 $\geq 150\text{ g}$),并折算总产量(每 667 m^2 按 1 700 株番茄计算)。

1.3.3 根际温度的测定

在整个生育期中,每个月选择晴天、阴天(或雨天)2个具有代表性的天气,分别对空气、处理 A 和处理 G 根际温度进行测量,每间隔 1 h 测量一次。

1.4 数据分析

试验数据均以 Excel 软件处理,以 SPSS 20.0 软件进行统计分析,处理间差异显著性检验采用 Duncan's 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同间断供液时间对番茄株高的影响

由表3可以看出,定植后8d(3月5日)番茄进入秧苗缓苗,各处理间番茄株高差异性均不显著;开花期前(3月19日),处理G与处理A、B、C间差异性达到显著水平,与处理D、E、F差异性不显著;在坐果期(4月15日)前,随着各处理供液时间的增加,株高呈现逐步增加的趋势;在坐果期(4月15日)和番茄始收前(5月21日)时,各处理间的株高差异性均未达到显著水平。在番茄整个生长期,处理G的株高始终高于处理A。随着白天单次供液时间的增加,番茄的株高呈现逐渐增加的趋势,尤其是在幼苗期;地上栽培槽比地下栽培槽更有利于番茄株高的生长。

2.2 不同间断供液时间对番茄茎粗的影响

由表4可以看出,定植后8d(3月5日)各处理间番茄茎粗有一定的差异,其中处理E、F、G与处理A、B、C差异性达到显著水平,其它处理间差异性不显著;从3月19日以后,除4月15日处理D与处理A、G差异性达到显著水平,其它各处理间差异性均不显著;随着供液时间的延长,番茄基部茎粗无明显变化趋势,仅在开花期(3月21日)前,对茎粗有一定的促进作用,但不如株高明显。整个番茄生育期,地上栽培槽比地下栽培槽更有利于番茄茎粗的生长,在幼苗期尤其明显。

2.3 不同间断供液时间对番茄叶片数的影响

由表5可以看出,定植后8d(3月5日)处理B、C、G与处理D、F的叶片数差异性显著,其它各处理间番茄叶片数差异性不显著;开花期前(3月19日)处理G与处理A、B、C、D的叶片数差异性达到显著水平,其它各处理间番茄叶片数差异性不显著;坐果期(4月15日)处理B、C与处理A的叶片数差异性显著,其它各处理间番茄叶片数差异性不显著;番茄始收前(5月21日)各处理间的叶片数有一定的显著性差异,处理G的叶片数最多。番茄叶片数随着供液时间的延长变化趋势不明显,差异性较小;整个生育期各处理相比较,栽培槽在地面上或在地面下对番茄叶片数影响较小。

表 3 不同处理对番茄株高变化的影响
Table 3 Effect of different treatments on tomato plant height

Table 3 Effect of different treatments on tomato plant height											cm
处理	测量日期 Measurement date/(月-日)										
Treatment	03-05	03-12	03-19	03-26	04-01	04-09	04-15	04-22	05-07	05-21	
A	23.86±1.33a	32.86±1.03c	45.43±1.04c	59.00±1.20c	72.00±1.18c	91.00±1.45b	98.67±4.33a	122.43±0.81b	150.86±1.67b	164.00±3.70a	
B	22.36±0.75a	33.14±0.77bc	47.43±0.66bc	62.43±1.07ab	73.71±0.64ab	95.00±1.72ab	104.00±4.11a	131.71±1.95a	149.57±3.48b	166.14±4.07a	
C	22.36±1.07a	33.43±1.00bc	47.79±0.87bc	60.36±0.70bc	74.57±1.21ab	94.14±1.40ab	109.00±1.53a	126.14±1.73b	155.43±3.48ab	169.86±5.17a	
D	22.64±0.52a	34.64±0.39abc	48.57±0.57ab	63.43±0.81ab	74.14±0.83ab	95.14±0.51ab	102.33±2.73a	125.71±1.91b	151.00±1.20b	167.29±1.87a	
E	24.29±0.72a	34.36±0.62abc	49.14±0.74ab	62.14±0.55abc	76.07±0.86ab	95.14±0.94ab	102.67±1.45a	127.86±1.33ab	156.29±3.33ab	158.71±4.45a	
F	24.50±0.65a	35.86±1.18ab	50.07±1.40ab	64.43±1.91a	77.71±2.13a	98.57±2.55a	98.33±4.41a	125.86±2.66b	160.43±2.70a	170.71±2.88a	
G	23.86±0.63a	36.43±0.81a	51.43±1.24a	64.50±0.85a	76.79±1.73a	96.29±1.52a	99.00±3.20a	125.71±1.77b	155.00±2.58ab	172.29±3.36a	

注:同列不同字母表示差异显著($P<5\%$),下同。

Note: Different letters in the same column indicate significant difference at 5% level, the same as below.

表 4 不同处理对番茄茎粗变化的影响
Table 4 Effect of different treatments on tomato stem diameter

Table 4 Effect of different treatments on tomato stem diameter											mm
处理 Treatment	测量日期 Measurement date/(月-日)										
	03-05	03-12	03-19	03-26	04-01	04-09	04-15	04-22	05-07	05-21	
A	5.50±0.27c	5.75±0.14c	6.73±0.39a	7.77±0.42a	8.50±0.15a	8.69±0.42a	9.93±0.63a	9.35±0.37a	9.42±0.48a	9.52±0.39a	
B	5.56±0.09c	6.28±0.10bc	7.37±0.16a	7.80±0.42a	9.25±0.20a	9.45±0.29a	8.67±0.42ab	9.76±0.40a	9.81±0.47a	10.0±0.57a	
C	5.54±0.19c	6.72±0.05ab	7.00±0.30a	7.49±0.31a	9.06±0.34a	9.31±0.38a	9.20±0.53ab	9.60±0.28a	9.70±0.33a	9.70±0.23a	
D	5.74±0.28bc	6.21±0.27bc	7.04±0.16a	7.39±0.31a	8.47±0.18a	8.87±0.38a	7.93±0.34b	9.13±0.35a	9.26±0.32a	9.37±0.32a	
E	6.23±0.22ab	6.64±0.16ab	7.30±0.32a	7.48±0.12a	8.72±0.09a	8.46±0.23a	9.03±0.47ab	9.64±0.28a	8.70±0.41a	9.69±0.35a	
F	6.03±0.20ab	6.70±0.27ab	7.52±0.27a	7.84±0.35a	8.38±0.61a	9.05±0.28a	9.09±0.06ab	9.30±0.34a	9.38±0.37a	9.46±0.26a	
G	6.47±0.14a	7.15±0.17a	7.51±0.19a	7.53±0.21a	8.62±0.19a	8.79±0.18a	9.85±0.35a	9.36±0.30a	9.43±0.23a	9.46±0.21a	

表 5 不同处理对番茄叶片数的影响
Table 5 Effect of different treatments on tomato leaf number

Table 5 Effect of different treatments on tomato leaf number										
处理 Treatment	测量日期 Measurement date/(月-日)									
	03-05	03-12	03-19	03-26	04-01	04-09	04-15	04-22	05-07	05-21
A	5.71±0.18ab	8.57±0.48a	9.71±0.18b	12.43±0.30a	14.29±0.29ab	16.86±0.40a	16.00±1.00b	20.57±0.53a	23.57±0.61a	25.57±0.61ab
B	6.43±0.20a	8.00±0.31ab	9.57±0.20b	12.00±0.31a	14.00±0.22ab	16.71±0.36ab	18.67±0.67a	20.71±0.52a	24.57±0.57a	24.71±0.57ab
C	6.43±0.20a	7.29±0.29b	9.43±0.20b	12.00±0.22a	13.57±0.30b	15.71±0.18b	19.00±0.58a	19.71±0.28a	23.29±0.18a	24.14±0.51b
D	5.43±0.20b	7.71±0.18ab	9.57±0.20b	12.29±0.18a	14.71±0.42a	17.00±0.31a	17.67±0.67ab	19.43±0.48a	23.57±0.53a	25.14±0.34ab
E	6.00±0.38ab	7.86±0.26ab	10.00±0.22ab	12.71±0.29a	14.57±0.20a	17.14±0.26a	17.67±0.88ab	20.29±0.29a	23.71±0.42a	24.14±0.51b
F	5.43±0.20b	7.86±0.26ab	9.86±0.26ab	12.43±0.20a	14.43±0.20ab	16.57±0.37ab	18.00±0.58ab	19.86±0.40a	24.29±0.52a	25.71±0.61ab
G	6.29±0.18a	8.14±0.26ab	10.43±0.30a	12.43±0.48a	14.29±0.29ab	16.29±0.36ab	17.33±0.33ab	20.57±0.15a	24.00±0.53a	26.29±0.75a

2.4 不同间断供液时间对番茄叶面积和叶鲜质量的影响

由表 6 可以看出,坐果期至果实开始收获,叶面积和叶鲜质量呈先增加后减少的趋势,处理 C 叶面积和叶鲜质量最高;采收期叶面积和叶鲜质量呈现增加的趋势;开花期(3 月 21 日)不同处理对番茄叶面积和叶鲜质量的影响差异性均不显著;坐果期(4 月 5 日)各处理叶面积进行比较,处理 B、C 与处理 A、E、F 差异性达到显著水平,其

它处理间差异不显著,各处理叶鲜质量有一定的显著性差异,其中处理 B、C、G 的叶鲜质量较大;始收期(5 月 24 日)处理 C 与处理 G 叶面积差异性达到显著,其它处理间差异不显著,处理 C 与处理 E、G 叶鲜质量差异性达到显著,其它处理间差异性不显著;拉秧(7 月 1 日)叶面积和叶鲜质量各处理间差异性均未达到显著水平。整个生育期各处理相比较,栽培槽在地面上或地面下对番茄叶的生长影响较小。

表 6 不同处理对番茄叶面积和叶鲜质量的影响

Table 6 Effect of different treatments on the tomato leaf area and fresh weight

处理 Treatment	测量日期 Measurement date/(月-日)							
	03-21		04-15		05-24		07-01	
	叶面积	叶鲜质量	叶面积	叶鲜质量	叶面积	叶鲜质量	叶面积	叶鲜质量
	Leaf area /dm ²	Leaf fresh weight/g	Leaf area /dm ²	Leaf fresh weight/g	Leaf area /dm ²	Leaf fresh weight/g	Leaf area /dm ²	Leaf fresh weight/g
A	14.04±1.35a	34.66±4.22a	41.02±1.89b	126.98±4.03c	72.09±2.98ab	230.71±4.68ab	113.08±7.75a	315.19±8.66a
B	13.63±0.94a	35.49±1.76a	55.25±2.05a	171.27±4.70ab	74.26±6.81ab	274.38±9.85ab	119.58±8.62a	355.51±9.06a
C	17.39±2.88a	44.95±4.46a	56.61±1.16a	183.01±8.23a	83.34±0.91a	286.72±3.10a	100.41±6.82a	291.54±10.02a
D	14.61±0.43a	37.79±1.73a	48.70±3.90ab	137.70±7.31bc	72.82±4.36ab	263.58±6.26ab	116.72±6.25a	332.13±11.04a
E	17.49±1.38a	47.09±3.03a	41.87±0.56b	143.27±2.85bc	68.80±6.93ab	221.67±8.11b	131.82±7.65a	384.08±11.98a
F	15.48±1.11a	43.11±2.71a	43.86±3.55b	131.56±8.61c	77.83±6.93ab	276.24±7.95ab	134.53±6.82a	381.44±9.26a
G	15.81±1.53a	43.28±3.03a	47.16±4.90ab	157.60±7.91abc	63.98±2.16b	226.30±4.52b	112.82±6.74a	338.07±9.29a

2.5 不同间断供液时间对番茄植株叶绿素含量及光合特性的影响

由表 7 可以看出,栽培槽同为地面以下的各处理相比较,处理 C 与处理 A、B、F 差异性达到显著水平,其它处理间差异性不显著,处理 C 叶绿素含量最高,相对值是 55.53,比叶绿素含量最低的处理 A 高出 23.59%。随着供液时间的增加,叶绿素含量呈先增加后减少的趋势;栽培槽在地面以上的处理 G,叶绿素含量相对值为 56.00,比处理 A 高出 24.64%,差异性显著。

不同地下的供液制度对各处理叶片的净光合速率差异性均不显著,处理 C 净光合速率最高,为 12.241 6 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比处理 F 净光合速率高出 11.40%;随着供液时间的延长,净光合速率呈先增强后减弱的趋势。

对各处理叶片气孔导度进行比较,处理 C 与处理 A、B、D、E、F 差异性达到显著水平,处理 G 与处理 A、F 差异性达到显著水平,其它处理间差异不显著。气孔导度随着供液时间的延长呈先增

加后减弱的趋势,在供液 30 $\text{min} \cdot \text{h}^{-1}$ 达到最大,气孔导度是 0.301 0 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,地上栽培槽处理 G 叶片气孔导度比地下栽培槽处理 A 高出 63.28%。

对各处理叶片胞间 CO_2 浓度进行比较,各处理间有一定的差异性,其中,处理 C 胞间 CO_2 浓度最高,为 339.99 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

对各处理叶片蒸腾速率进行比较,处理 C、G 与处理 A、B、D、E、F 差异性达到显著水平,蒸腾速率随供液时间的延长呈先增加后减弱,蒸腾速率在供液 30 $\text{min} \cdot \text{h}^{-1}$ 达到最大,为 5.155 1 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,处理 G 相比较处理 A 高出 120.14%。

整体而言,随着供液时间的延长,净光合速率、气孔导度和蒸腾速率呈先增强后减弱的趋势,在供液 30 $\text{min} \cdot \text{h}^{-1}$ 时达到最高。也就是说供液 30 $\text{min} \cdot \text{h}^{-1}$ 处理的光合速率最高、气孔导度最大,相应的蒸腾速率较高。与地下栽培槽相比,地上栽培槽能提高番茄叶片的光合作用。

表7 不同处理对番茄植株叶绿素含量及光合特性的影响

Table 7 Effect of different treatments on tomato chlorophyll content and photosynthetic characteristics

处理 Treatment	叶绿素含量 Chlorophyll content/ SPAD	净光合速率 Net photosynthetic rate /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度 Stomatal conductance /($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度 Cell interval CO_2 concentration /($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率 Transpiration rate /($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
A	44.93 \pm 1.22c	11.110 1 \pm 2.313 9a	0.140 8 \pm 0.010 0c	279.99 \pm 7.21bc	2.364 9 \pm 0.277 6c
B	46.72 \pm 2.07c	11.849 6 \pm 0.961 8a	0.188 3 \pm 0.050 4bc	318.13 \pm 6.69ab	2.926 8 \pm 0.388 4bc
C	55.53 \pm 2.94ab	12.241 6 \pm 0.773 4a	0.301 0 \pm 0.006 1a	339.99 \pm 6.58a	5.155 1 \pm 0.057 7a
D	51.50 \pm 2.10abc	11.810 2 \pm 0.881 7a	0.208 1 \pm 0.027 8bc	314.18 \pm 6.53ab	3.753 1 \pm 0.351 6b
E	49.37 \pm 1.96bc	11.193 2 \pm 0.710 7a	0.155 4 \pm 0.013 6bc	294.68 \pm 9.39bc	3.089 8 \pm 0.141 6bc
F	47.12 \pm 1.68c	10.988 6 \pm 2.338 5a	0.132 8 \pm 0.005 5c	269.35 \pm 3.71c	3.130 6 \pm 0.115 1bc
G	56.00 \pm 2.35a	13.469 3 \pm 0.339 2a	0.229 9 \pm 0.025 4ab	299.68 \pm 7.89abc	5.206 2 \pm 0.537 1a

2.6 不同间断供液时间对番茄植株干鲜质量的影响

由表8可以看出,栽培槽位置相同时,各处理间植株地上部的鲜质量和干质量差异性均未达到显著水平;各处理地下部的鲜质量和干质量有一

定的差异性,随供液时间的增加,呈先增加后减少的变化趋势。供液时间相同时,地上栽培槽和地下栽培槽的处理,植株的干鲜质量差异性均不显著。

表8 不同处理对番茄植株鲜质量和干质量的影响

Table 8 Effect of different treatments on fresh and dry weight of tomato

g

处理 Treatment	地上部鲜质量 Fresh weight of overground part	地上部干质量 Dry weight of overground part	地下部鲜质量 Fresh weight of underground part	地下部干质量 Dry weight of underground part
A	737.72 \pm 13.81a	92.84 \pm 8.44a	154.95 \pm 6.23ab	17.97 \pm 1.61ab
B	830.04 \pm 15.47a	107.27 \pm 6.56a	164.88 \pm 12.09a	20.31 \pm 2.90a
C	683.75 \pm 12.93a	88.92 \pm 7.14a	146.22 \pm 6.11abc	17.11 \pm 1.33abc
D	769.33 \pm 13.02a	96.50 \pm 6.01a	124.89 \pm 6.72bc	16.32 \pm 0.98abc
E	853.28 \pm 9.45a	97.66 \pm 6.37a	115.46 \pm 4.06cd	12.04 \pm 1.07c
F	889.31 \pm 11.99a	118.85 \pm 7.16a	84.06 \pm 7.06d	12.80 \pm 1.29bc
G	776.60 \pm 7.73a	111.01 \pm 4.03a	122.79 \pm 8.20bc	16.08 \pm 1.83abc

2.7 不同间断供液时间对番茄单株坐果数、单果质量、优果率及产量的影响

由表9可以看出,栽培槽位置相同时,各处理间单株坐果数、平均单果质量、优果率、产量随着供液时间的延长,呈先增加后减少的趋势。各处理间单株坐果数处理B、C差异性不显著,处理A、D、E、F差异性不显著,其它处理间差异性显著;处理间平均单果质量差异性不显著,其中处理C的平均单果质量最大,为176.48 g;各处理优果率处理C和处理A、D、E、F差异性达到显著,其它处理间差异性不显著,其中处理C的优果率达到85.65%,高于处理F优果率的12.33%。处理B和处理C 667 m^2 产量相比其它处理较高,分别为7 948.06、7 960.93 kg。

供液时间相同时,与地下栽培槽(处理A)相比较,地上栽培槽(处理G)单株坐果数增加了2.2个,

优果率提高了11.75%,产量增加了9.48%。

2.8 不同间断供液时间对番茄品质的影响

由表10可以看出,栽培槽位置相同时,各处理可溶性糖、有机酸、维生素C含量、果实干质量差异性不显著,果实干质量比(即果实干物质占鲜质量的比例)处理A和处理B、C、D、E、F差异性显著,其它处理间差异性不显著,供液时间较少时更有利于番茄果实干物质的积累。供液时间相同时,地下栽培槽和地上栽培槽处理可溶性糖、有机酸、维生素C含量、果实干质量等果实品质指标的差异性均未达到显著水平。

2.9 不同间断供液时间栽培槽在地面上对根系温度情况

从图1可以看出,栽培槽地面上对番茄根系温度相比较,处理G相比较处理A的温度随空

表 9 不同处理对番茄坐果情况和产量的影响

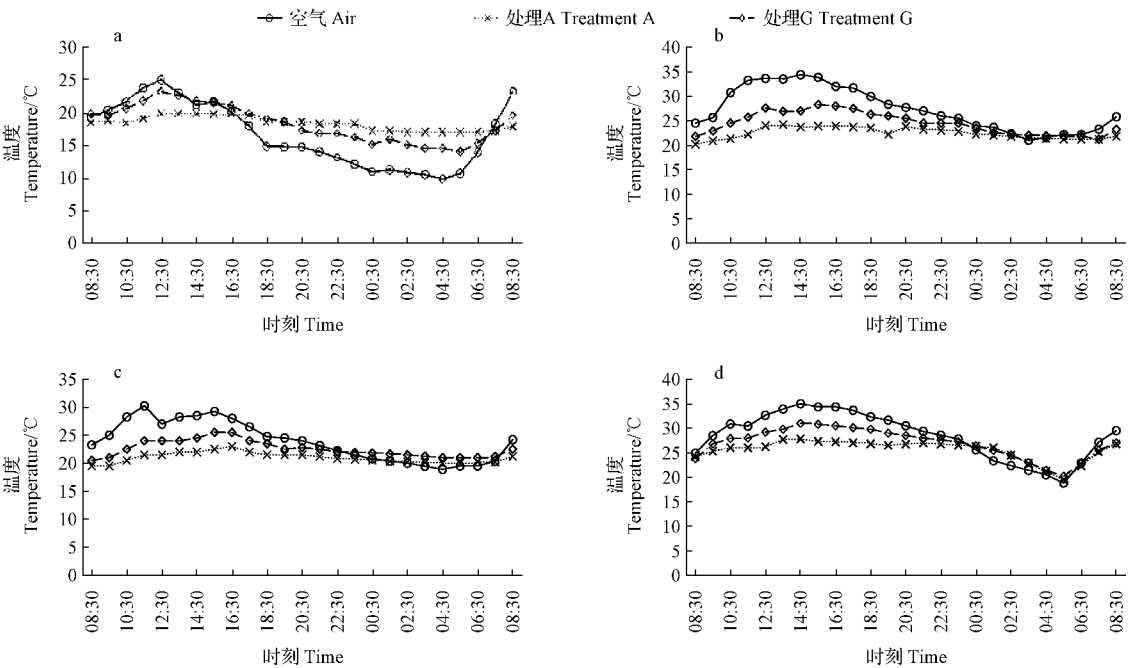
Table 9 Effect of different treatments on tomato fruit habit and yield

处理 Treatment	单株坐果数 Monoclonal fruit number/个	单果质量 Single fruit weight/g	优果率 Excellent fruit rate/%	667 m ² 产量 Yield per 667 m ² /kg
A	24.00±0.45b	159.10±2.40a	78.36±3.35b	6 501.21
B	28.00±1.52a	166.54±2.24a	84.17±3.52ab	7 948.06
C	26.60±1.75a	176.48±3.84a	85.65±2.94a	7 960.93
D	24.60±1.69b	157.64±4.60a	78.26±2.48b	6 508.80
E	23.20±2.52b	169.93±3.46a	78.07±3.16b	6 757.76
F	23.80±0.80b	157.90±2.72a	76.25±1.05b	6 370.31
G	26.20±1.20a	159.35±2.18a	87.57±2.86a	7 117.25

表 10 不同处理对番茄果实品质的影响

Table 10 Effect of different treatments on tomato quality

处理 Treatment	可溶性糖含量 Soluble sugar content/%	有机酸含量 Organic acid content/%	维生素 C 含量 Vitamin C content /(mg·(100g) ⁻¹)	果实干质量 Fruit dry weight /g	果实干质量比 Fruit dry weight and fresh weight ratio/%
A	6.12±0.81a	0.283 9±0.025 6a	15.38±0.33a	9.75±1.23a	5.95±0.26a
B	4.42±0.63a	0.301 5±0.019 3a	13.71±0.33a	8.31±1.94a	5.14±0.25b
C	5.22±0.44a	0.279 1±0.022 3a	14.05±0.00a	8.10±1.46a	5.12±0.08b
D	4.53±0.86a	0.312 7±0.029 5a	13.82±1.20a	12.41±1.51a	5.20±0.35b
E	4.41±0.78a	0.290 3±0.011 2a	14.05±0.58a	8.42±1.33a	4.99±0.02b
F	4.36±0.49a	0.312 7±0.029 5a	14.05±0.58a	8.37±1.66a	5.16±0.21b
G	6.00±0.76a	0.301 5±0.019 3a	13.71±1.86a	9.62±1.88a	5.47±0.21ab



注:a. 2016 年 4 月 17—18 日;b. 2016 年 4 月 30 日至 2016 年 5 月 1 日;c. 2016 年 5 月 17 日至 2016 年 8 月 18 日;d. 2016 年 6 月 28—29 日。

Note:a. Apr. 17th to 18th, 2016;b. Apr. 30th to May 1th, 2016;c. May 17th to Aug. 18th, 2016;d. Aug. 28th to 29th, 2016.

图 1 不同处理对番茄根系温度的影响

Fig. 1 Effect of different treatments on rhizosphere temperature of tomato

气温度变化更大。在坐果期(4月15日)之前根系温度波动范围在番茄根系正常活动的范围内(如图a中2017年4月17日处理G的最高温度为24.9℃)。据2016年5月17日的观测值知,处理G的日平均温度(22.544℃)高于处理A(20.956℃)。处理G根系温度相比较处理A可提高1~2℃,白天随着空气温度的升高而快速升高,提高了根系的活性,根据植物生物学可知有利于根系的营养物质的吸收,促进番茄的生长;晚上根系温度降低较快,降低根系呼吸作用,减少根系对光合产物的消耗。由此可以知道,地上栽培槽更有利早春茬日光温室番茄的生长。

3 结论与讨论

随着供液时间的增加,番茄的株高呈现逐渐增加的趋势,净光合速率、气孔导度、蒸腾速率呈先增加后减少的趋势,对茎粗、叶片数影响不明显。

随着供液时间的延长,番茄果实干质量比呈下降趋势,平均单果质量、优果率、产量呈先增加后减少的趋势;不同供液制度的处理间,植株地上部茎叶鲜质量和干质量、果实可溶性糖的增加、有机酸、维生素C含量等指标差异性不显著。供液25、30 min·h⁻¹处理下667 m²产量最高分别为7 948.06、7 960.93 kg,相差仅0.16%,处理B(供液25 min·h⁻¹)白天每小时循环供液时间较处理C(供液30 min·h⁻¹)少5 min,累计循环供液能耗较处理C节能16.6%。该试验结果得出,番茄的不同生长阶段以白天每小时供液25 min为宜。

相同供液间隔期,地上栽培槽番茄的株高、茎粗、叶面积、净光合速率及植株干鲜质量等指标均高于地下栽培槽,单株坐果数增加了2.2个,优果率提高了11.75%、产量提高9.48%。在番茄不同生育期,地上栽培槽可有效提高根系温度1~2℃以促进生长。早春茬番茄采取营养液膜栽培宜采用地上栽培槽。

NFT的供液制度受地域、季节、作物、生育期、温度、湿度、经济等诸多因素的影响,国外NFT的供液利用光照度的积累自动化的控制供液时间的长短,也是有一定的局限性。就目前国内生产栽培的模式,还更多是采取传统土壤栽培

来降低生产的成本,如果一次性的投入较大(仅仅一套自动化施肥器,价格让很多农户难以接受),无土栽培的推广工作就会遇到巨大阻力。根据作物的生长规律,利用简单的时控开关相对科学的来调节供液时间便是一个经济化简易化的操作。NFT简易化栽培过程中,栽培槽在地面的上下也一直有争议。中原地区日光温室具有良好的蓄热条件,从试验结果来看,日光温室早春茬番茄的栽培采用栽培槽在地面上完全可以保证番茄正常生长的温度要求。

(该文作者还有桑政,单位为河南农业大学园艺学院。)

参考文献

- [1] 束胜,康云艳,王玉,等.世界设施园艺发展概况、特点及趋势分析[J].中国蔬菜,2018(7):1-13.
- [2] 杨静,陆晔丰,孙凯文,等.次生盐渍化土壤养分及可溶性盐垂直分布[J].北方园艺,2016(23):171-174.
- [3] 蒋卫杰,余洪军.我国无土栽培的现状、问题和展望[J].农业实用工程技术·温室园艺,2005(6):14-16.
- [4] KATSOULAS N, KITTAS C, TSIROGIANNIS I L, et al. Greenhouse microclimate and soilless pepper crop production and quality as affected by a fog evaporative cooling system[J]. Transactions of the ASABE, 2007, 50: 1831-1840.
- [5] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2011: 1-10.
- [6] 刘现,林营志,李传辉,等.营养液膜(NFT)栽培试验仪的设计[J].福建农业学报,2017,32(1):93-98.
- [7] 周元清. 营养液供应对雾培生菜产量和营养品质的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [8] 马中男,章厚村. 番茄的营养液膜栽培配套技术研究[J]. 农业工程学报, 1989, 5(2): 27-34.
- [9] 张德威,王汝祥. 营养液膜栽培设施的研究[J]. 浙江农业大学学报, 1993, 19(4): 445-449.
- [10] 牟咏花,张德威. 番茄简易营养液膜栽培配套技术研究[J]. 浙江农业学报, 1996(2): 106-109.
- [11] 张莉. 日光温室生菜 NFT 栽培设施改进和营养液配方研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [12] DORAIS M, DORVAL R, DEMERS D A. Improving tomato fruit quality by increasing salinity: Effects on Ion uptake growth and yield[J]. Acta Horticulturae, 2000, 511: 317-322.
- [13] CORNISH P S. Use of the high electrical conductivity of nutrient solution to improve the quality of salad tomatoes grown in hydroponics culture[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1992, 32(4): 513-520.
- [14] KIMBENG C A. Use of high electrical conductivity of nutrient solution to improve the quality of salad tomatoes (*Lycopersi-*

con esculentum) grown in hydroponic culture[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1999, 39(3): 361-378.

[15] 范双喜. 不同营养液浓度对茼蒿生长特性的影响[J]. 园艺学报, 2003, 30(2): 152-156.

[16] 范双喜, 伊东正. 培养液浓度对 NFT 栽培生菜生长发育的影响[J]. 华北农学报, 2002, 17(2): 92-96.

[17] 王瑞, 胡笑涛, 王文娥, 等. 菠菜水培不同营养液浓度的产量、品质、元素利用效率主成分分析研究[J]. 华北农学报, 2016, 31(S1): 206-212.

[18] TINDALL J A, MILLS H A. The effect of root zone temperature on nutrient uptake of tomato[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 1990, 13(8): 21-25.

[19] DASKALAKI A, BURRAGE S W. Solution temperature and the uptake of water and nutrients by cucumber (*Cucumis sativus* L.) in hydroponics[J]. Acta Horticulturae, 1998, 458: 317-

322.

[20] 郑小兰, 侯亚兵, 王瑞娇, 等. 根际氧浓度对番茄幼苗生长发育的影响[J]. 华北农学报, 2017, 32(4): 208-214.

[21] 沈家洛, 丸尾達, 朱月林, 等. 营养液管理方式对 NFT 栽培茼蒿生长和烧边发生的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(8): 131-134.

[22] 庄天佑, 李式军, 庄仲莲. 用营养液膜技术栽培蔬菜的供液及控制方式[J]. 南京农业大学学报, 1987(2): 121-123.

[23] 陶国富. 基于植物水势 NFT 栽培樱桃番茄间歇灌溉控制规律的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.

[24] 任毛飞, 王吉庆, 周燕, 等. 岩棉育苗块持水量对番茄幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2016(9): 47-49.

[25] 李小玉. 不同用量腐殖酸肥在番茄上的应用效果研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2016.

Effect of Intermittent Solution Circulation on Tomato Growth and Yield in the Nutrient Film Technique

REN Maofei^{1,2}, WANG Jiqing², LI Yu², ZHOU Yan², MA Caixia², ZHANG Yonghao², SANG Zheng²

(1. Xinyang Agriculture & Forestry College, Xinyang, Henan 464000; 2. College of Horticulture, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002)

Abstract: Nutrient film technique is an important mode of soilless cultivation. In order to explore the solution circulation system of tomato nutrient film technique of early spring under greenhouse in the central plains. Tomato cultivar ‘Shuang kang No. 1’ was taken as experimental materials. It was one hour for the cycle of day, six levels (20, 25, 30, 35, 40, 45 minutes for each hour) were set up intermittent solution circulation time; solution circulation system of night was providing water for 3 hours every 15 minutes. Tomato development and photosynthetic characteristics, yield and quality were investigated. The effects of intermittent solution circulation time on the growth and yield of tomato in NFT were studied. The results showed that there was no significant difference in fresh weight and dry weight of tomato overground part. With the extension of time for the irrigation, the plant height of tomato showed a trend of increasing gradually, no significant difference in stem diameter and leaf. With the extension of time for the irrigation, fresh and dry weight of underground, net photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration rate, weight of single, excellent fruit rate, yield decreased after increased trend, the yield per 667 m² of treatment 25 minutes for each hour, 30 minutes for each hour were 7 948. 06 kg, 7 960. 93 kg. With the extension of time for the irrigation, fruit dry weight and fresh weight ratio decreased, soluble sugar, organic acid and vitamin C content were no significant difference in different treatments. Intermittent solution for the same time interval, compared with cultivation bed under the ground level, cultivation bed over the ground level treatment could effectively improve biological indicators, such as plant height, stem diameter, leaf area, rate of photosynthesis, improve the rhizosphere temperature 1—2 °C, monoclonal fruit number increased by 2. 2, the excellent fruit rate increased by 11. 75%, the yield increased by 9. 48%.

Keywords: tomato; nutrient film technique; intermittent solution circulation; cultivation bed